



Università degli Studi di Napoli "Parthenope"
Dipartimento di Scienze e Tecnologie

Corso di Telerilevamento

Lezione 4 - B

I sensori per il telerilevamento *(Parte II)*

Claudio Parente

Sensori a scansione meccanica

Sono detti anche *scanner*.

Sono sistemi passivi, sensibili alla radiazione visibile e/o infrarossa e sono utilizzati a bordo di aerei o satelliti per acquisire immagini di zone della superficie terrestre anche molto ampie.

Sensori a scansione meccanica

Gli scanner, normalmente a scansione lineare, riprendono migliaia di pixel di una striscia ortogonale alla direzione di volo.

Si ottiene tale risultato effettuando una scansione del terreno mediante uno specchietto piano oscillante attorno ad un asse parallelo al moto del veicolo.

Il moto della piattaforma genera l'altro asse delle immagini.

La radiazione intercettata viene inviata ad un sistema ottico che la focalizza su rilevatori sensibili a stabilite bande spettrali che trasducono l'energia elettromagnetica in segnale elettrico.

Scansione meccanica

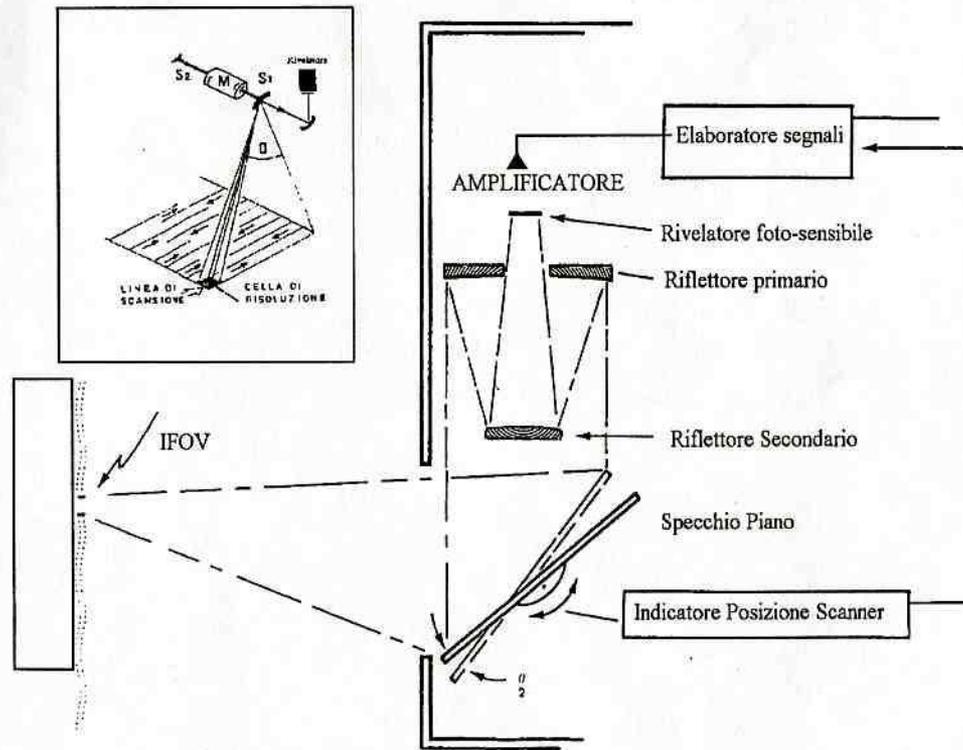
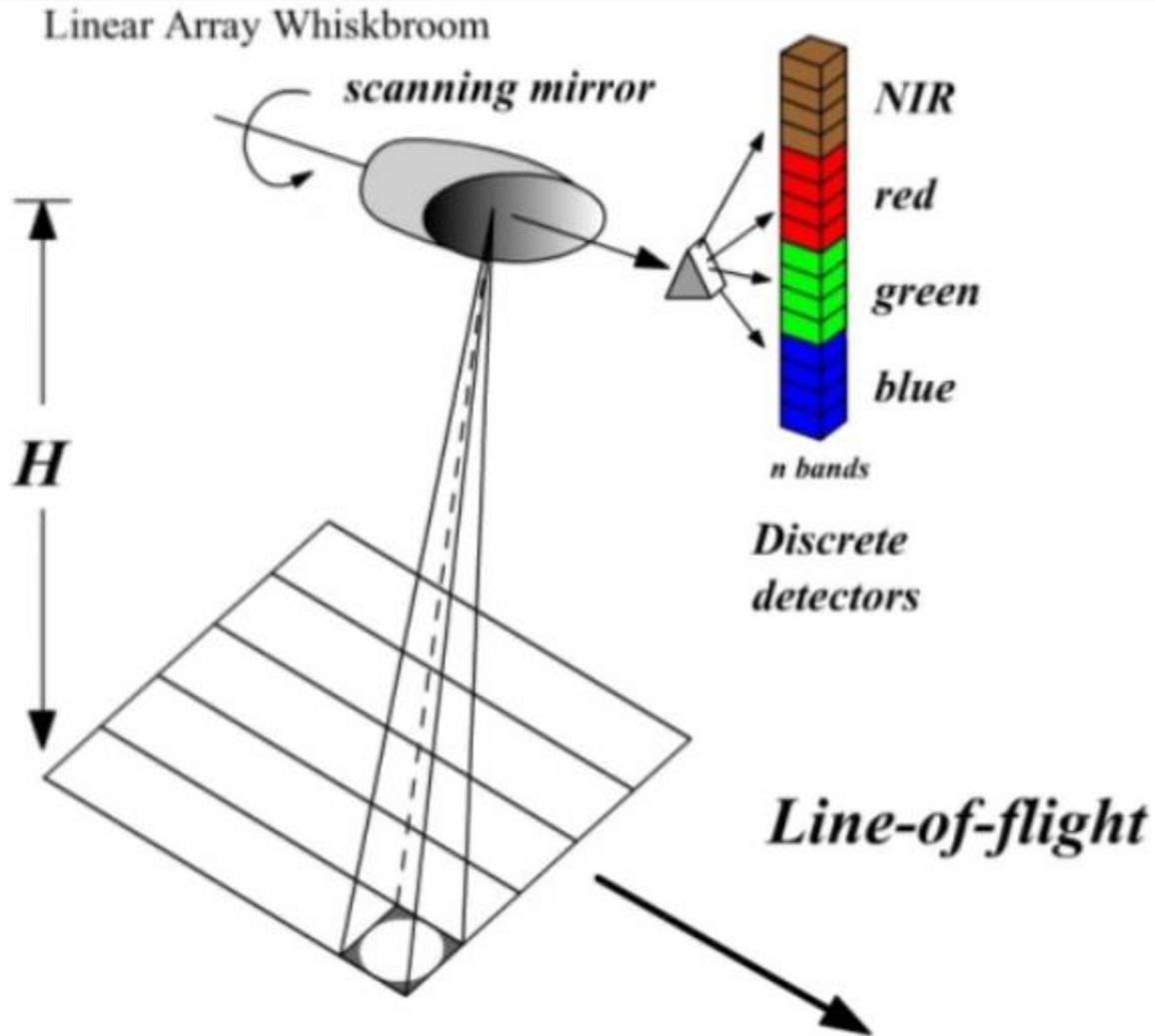


Fig. 3.1. Schema di uno scanner e modalità di acquisizione di un'immagine

Scansione meccanica



Sensori

Tab. 3.2 - Caratteristiche dei principali sensori multispettrali montati su satellite

Sensore	Satellite	Intervallo spettrale (µm)	Swath (km)	Risoluzione spaziale (m)
MSS	LANDSAT	0.5-0.6 (MSS4) 0.6-0.7 (MSS5) 0.7-0.8 (MSS6) 0.8-1.1 (MSS7)	185	79
TM	LANDSAT-4/5	0.45-0.52 (TM1) 0.52-0.60 (TM2) 0.63-0.69 (TM3) 0.76-0.90 (TM4) 1.55-1.75 (TM5) 2.08-2.35 (TM7)	185	30
(ETM+)	(LANDSAT-7)	10.4-12.5 (TM6)		120*
VHR-XS	SPOT-1/2/3	0.50-0.59 0.61-0.68 0.79-0.89	60	20
VHRIR-XS	SPOT-4	0.50-0.59 0.61-0.68 0.79-0.89 1.58-1.75	60	20
AVHRR	NOAA	0.58-0.68 0.725-1.1 3.55-3.93 10.3-11.3 11.5-12.5	2394	1.1
AVNIR-XS	ADEOS	0.42-0.50 0.52-0.60 0.61-0.69 0.76-0.89	80	16
LISS3-XS	IRS-1C	0.52-0.59 0.62-0.68 0.77-0.86 1.55-1.70	142	23.5 70
ASET-KODAK	IKONOS-2	0.45-0.53 0.52-0.61 0.64-0.72 0.77-0.88	11	4

* 60 m nel LANDSAT-7

**Sensori a scansione
meccanica presenti su
satelliti Landsat**

Scansione meccanica

A bordo di alcuni satelliti Landsat sono montati due sensori a scansione meccanica:

- Multispectral Scanner (MSS);
- Thematic Mapper (TM).

Scansione meccanica - MSS

Frequenza di oscillazione: 7 Hertz
risoluzione geometrica: 80 m x 80 m
FOV = 15° circa
Acquisizione: 1/14 sec
Velocità locale: 6,7 km/sec circa
Acquisizione: 480 m per ciascuna striscia
80 x 6 = 480 m (in 1/14 sec)
6,7 km / 14 = 479 m

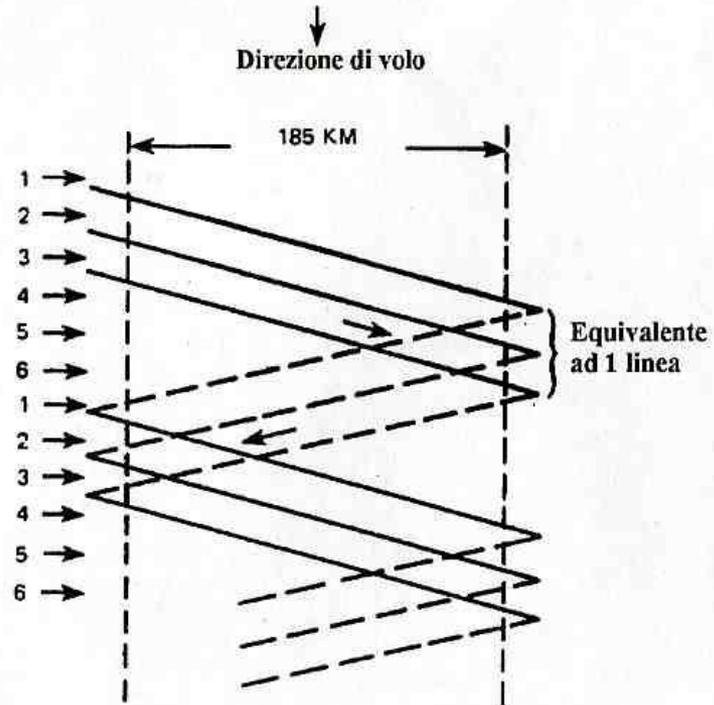


Fig.3.2. Schema di ripresa della *swath* di ognuna delle 4 bande dell'MSS: 6 rivelatori che riprendono, nella fase di andata dello specchio, 6 strisce parallele contigue (linee continue). Il sistema non acquisisce durante il ritorno dello specchio (linee tratteggiate).

Scansione meccanica - MSS

- BANDA 4, utile per la discriminazione degli agglomerati urbani (meno riflettenti della vegetazione), per studi sui corpi idrici e per studi sull'inquinamento. In questa banda si ha la presenza di una forte diffusione atmosferica;
- BANDA 5, ottima per separare le zone vegetate (meno riflettenti in questa banda dei terreni scoperti) e fra diversi tipi di vegetazione;
- BANDA 6, capace di esaltare le caratteristiche morfologiche e la tessitura dei suoli;
- BANDA 7, utilizzata, dato l'alto assorbimento dell'acqua in questa banda, per l'identificazione del reticolo idrografico e per la localizzazione delle coste. La vegetazione è molto riflettente e le latifoglie (querce, castagni, faggi, olmi, frassini, ecc.) maggiormente delle conifere (essenzialmente pini e abeti).

Scansione meccanica - TM

- BANDA 1, corrispondente al blu-verde, utilizzata principalmente, data l'alta penetrazione dei corpi idrici, per lo studio delle zone costiere. E' utilizzata anche per discriminare le conifere dalle latifoglie;
- BANDA 2, corrispondente al verde, utile per la determinazione dello stato di vigore della vegetazione. Per i corpi idrici fornisce informazioni sul plankton presente e sui materiali organici in sospensione;
- BANDA 3, corrispondente al rosso, importante per la diversificazione tra le varie classi della vegetazione per effetto dei diversi valori di assorbimento della clorofilla. Utile per evidenziare i limiti fra zone vegetate e superfici scoperte.

Delle restanti quattro bande, tre sono relative all'infrarosso riflesso:

- BANDA 4, utilizzata per gli studi sulla biomassa, verificandosi in questa regione il picco di riflessione della vegetazione. Particolarmente adatta, inoltre, per la delimitazione delle masse d'acqua e la distribuzione del reticolo idrografico;
- BANDA 5, indicativa del contenuto d'umidità della vegetazione e dell'umidità del suolo, nonché della differenziazione tra alcuni tipi di rocce. E' molto utile per la discriminazione tra nuvole, che assorbono e appaiono scure, ed il manto nevoso che riflette ad appare chiaro;
- BANDA 7, molto utile per la differenziazione dei litotipi e, quindi, per le mappature geologiche.

Frequenza di oscillazione: 7
Risoluzione : 30 m x 30 m

Acquisizione: 1/14 sec
Velocità locale: 6,7 km/sec
circa

Acquisizione: 480 m per
ciascuna striscia
30 x 16 barrette = 480 m (in
1/14 sec)

6,7 km / 14 = 479 m

Banda 6: 120 m e quindi 4
barrette

Landsat TM

La zona acquisita al suolo (swath) è pari a circa 185 km; la risoluzione geometrica è di 30 metri per tutte le bande del visibile e dell'IR riflesso.

Nelle riprese con il TM i pixel sono quantizzati radiometricamente in 256 pixel, cioè in 8 bit contro i 64 dell'MSS; Il TM quindi presenta sensibili miglioramenti sia come risoluzione spaziale che radiometrica.

Landsat 7 ETM+

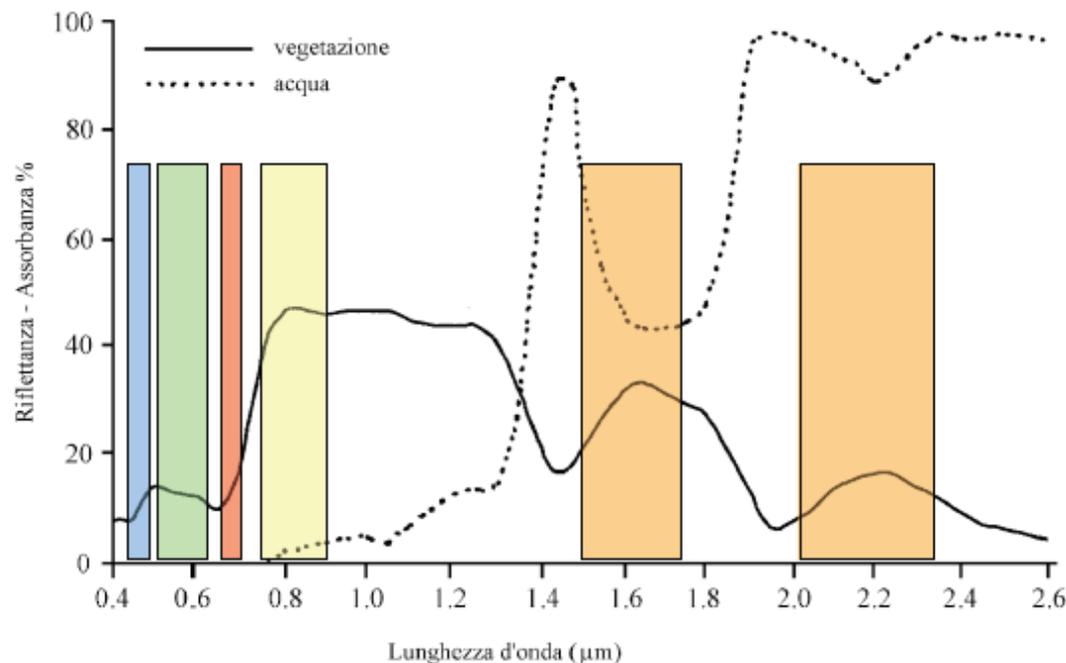
Nel 1999 è stato messo in orbita il Landsat 7 con a bordo il sensore ETM+ che ha sostituito il TM.

Le bande sono rimaste invariate, ma la risoluzione geometrica della banda termica è passata da 120 metri a 60 metri.

Landsat 7 ETM+

Risoluzione temporale: 16 gg.

Dimensione Immagine: 185 km



Risoluzione Geometrica	Bande
15 m	520 – 900 nm
30 m	450 – 515 nm 525 – 605 nm 630 – 690 nm 750 – 900 nm 1.55 – 1.75 µm 2.09 – 2.35 µm
60 m	10.4 – 12.5 µm

Scansione Pushbroom

Sensore a scansione pushroom o a barretta di rilevatore.

Specchietto oscillante sostituito da un insieme lineare di rilevatori (CCD), allineati su una barretta che esplora la scena trasversalmente alla direzione del moto della piattaforma.

Scena ripresa dal sistema ottico e letta elettronicamente dalla barretta (linea di scansione=sottile striscia di territorio)

Esempio: Striscia di 50 km, pixel di 10 m, allineamento di 5000 CCD

Scansione Pushbroom (2)

Dopo la lettura, avviene lo scaricamento sequenziale dei dati nel tempo t_r

Il tempo t_r è estremamente basso (ordine dei microsecondi).

Dovrebbe essere t_r uguale al tempo necessario per muovere la scena di una distanza pari a quella sottesa dall'IFOV. Poiché t_r è più piccolo, si hanno momenti di pausa della scansione, così da ridurre fortemente il rumore nel segnale.

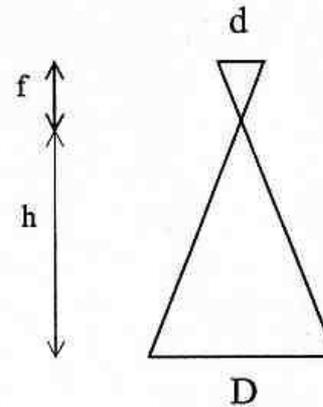
Scansione pushbroom

h = quota di volo

f = lunghezza focale del sistema ottico

d = dimensioni del rivelatore

D = dimensione del *pixel* a terra al nadir



Tra questi quattro parametri varrà la relazione:

$$D : d = h : f$$

da cui:

$$D = \frac{d \cdot h}{f}$$

Scansione Pushbroom (3)

$$h = 700 \text{ m} \quad f = 420 \text{ } \mu\text{m} \quad d = 6 \text{ } \mu\text{m}$$

$$\text{Ne consegue:} \quad D = 10 \text{ m}$$

Con una maggiore focale e rilevatori CCD più piccoli si ottengono risoluzioni geometriche più alte (cioè D più piccoli)

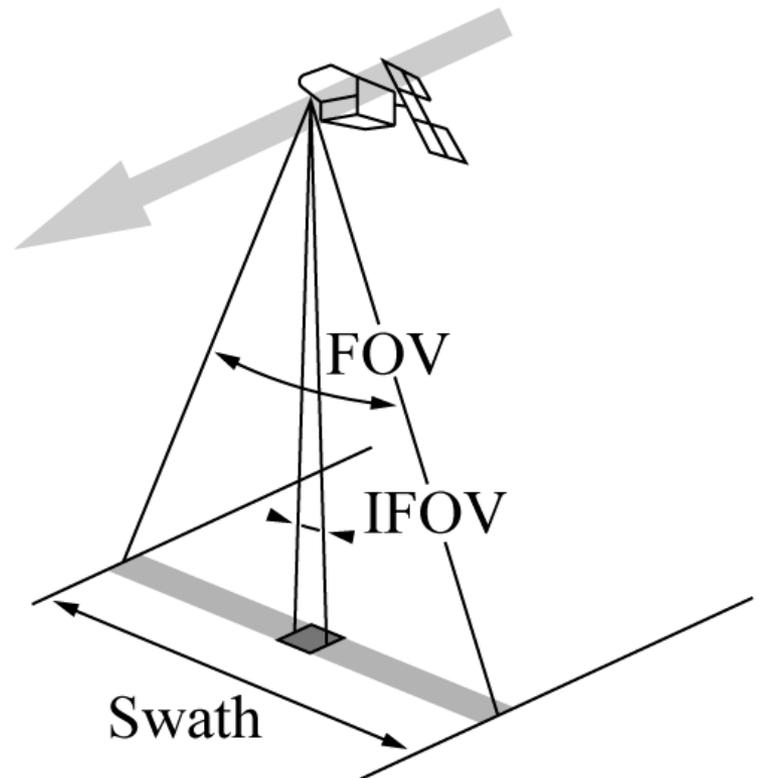
IKONOS (satellite lanciato il 24 settembre 1999)

1 m in pancromatico e 4 m in multispettrale

Scansione pushbroom

Da ciò, si evince che all'aumentare della focale del sistema ottico e al diminuire delle dimensioni del rivelatore, è possibile ridurre la dimensione del pixel a terra e quindi ottenere una maggiore risoluzione spaziale.

Nel caso di piattaforme satellitari, la quota di volo rimane invariata e l'uso dell'IFOV o della dimensione del pixel è indifferente



Tecnica del Dilay Time

Utilizzo di n barrette trasversali.

Acquisizione della seconda barretta ritardata rispetto alla prima di un tempo t pari quello richiesto dalla piattaforma per descrivere la traccia a terra lungo la direzione di volo di una quantità pari ad 1 pixel.

Lo stesso pixel è visto n volte e i rispettivi segnali sono sommati, per cui aumenta il rapporto segnale-rumore (sorgenti debolissime vengono registrate, a differenza dello scansione meccanica).

Scansione pushbroom

Ognuna delle linee di scansione corrisponde ad una sottile striscia di territorio.

Eseguita la rilevazione elettronica di una striscia di territorio, la barretta deve scaricare i dati in sequenza, o attraverso la trasmissione a distanza o attraverso la registrazione su un supporto magnetico.

Sensore HRV

Una tipologia di sensore che utilizza la scansione pushbroom è il **sensore HRV** (Higt Resolution Visible), utilizzato a bordo del satellite francese SPOT; tale satellite orbita ad un'altezza di 832 km e ripassa sullo stesso punto della terra ogni 26 giorni.

A bordo dello SPOT sono posizionati due sensori HRV identici che riprendono due strisce parallele di terreno di 60 km ciascuna, con una sovrapposizione di 3 km.

Sensore HRV

Sensore HRV (High Resolution Visible).

Utilizzato a bordo del satellite SPOT (System Probatoire d'Observation de la Terre).

1 sensore pancromatico (Ris. 10 m x 10 m), 1 sensore multispettrale (con 3 bande, Ris. 20 m x 20 m).

In realtà: due sensori (HRV1 e HRV2), che riprendono due strisce parallele di terreno larghe 60 km ciascuna, con sovrapposizione di 3 km ($L_{\text{tot}} = 117 \text{ Km}$).

È possibile che la stessa scena di 60 km sia ripresa da un sensore in pancromatico e dall'altro in multispettrale.

Sensore HRV (2)

Visione laterale = possibilità di ruotare da terra uno specchio sul satellite, secondo un asse parallelo alla traiettoria del satellite, con 45 scatti da 0.6° (tot. 27° da entrambi i lati rispetto al nadir)

Di conseguenza la visione può essere estesa fino a 475 km a destra e a sinistra dell'asse del volo.

La stessa zona può essere inquadrata più volte durante il periodo di 26 giorni.

Tipi di scanner pushbroom

Sono anch'essi suddivisi in

Scanner Pancromatico

Scanner Multispettrale

Scanner Iperspettrale

I sensori iperspettrali (sia meccanici che pushbroom) sono in espansione perché per ogni pixel forniscono la firma spettrale, cioè lo spettro completo di riflessione nell'ambito dell'intervallo di lunghezze d'onde di interesse.

Alcuni approfondimenti sulle risoluzioni

Nelle slide di seguito vengono fornite ulteriori approfondimenti sulle caratteristiche di alcuni sensori, evidenziando il concetto delle risoluzioni.

PARAMETRO SPAZIALE

CLASSI DI RISOLUZIONE SPAZIALE:

Classi di risoluzione	Risoluzione in metri	Definizione di risoluzione	semplificazione
1	0,1-0,5	Altissima	Alta
2	0,5- 1	Molto alta	
3	1-4	Alta	
4	4-12	Media	Medio- alta
5	12-50	Medio- bassa	Media
6	50-250	Bassa	Bassa
7	250-1000	Molto bassa	
8	> 1000	Bassissima	Bassissima

PARAMETRO SPAZIALE

SENSORI AD ALTA RISOLUZIONE SPAZIALE (ovvero che enfatizzano il parametro spaziale):

NB: scelta della piattaforma e della quota di volo

PASSIVI

- Camere fotogrammetriche tradizionali di tipo analogico AEREO
- Camere fotogrammetriche digitali AEREO
- Sensori pancromatici (+ multispettrali) SATELLITE ORBITA POLARE

ATTIVI

- Laserscanner (alta risoluzione anche sulla z) AEREO

CAMERE FOTOGRAMMETRICHE TRADIZIONALI, CAMERE PANORAMICHE ECC. DI TIPO ANALOGICO- SENSORI OTTICI

1) Alloggiate su aereo

2) sono gli strumenti fotografici tradizionali che operano nel campo del visibile e nell'infrarosso vicino ($0,9 \mu\text{m}$). Le pellicole fotografiche utilizzate sono sensibili alla radiazione elettromagnetica compresa tra $0,4$ e $0,9 \mu\text{m}$

3) sono sensori ottici passivi di tipo analogico che utilizzano una o più obiettivi (ottiche) per formare un'immagine sul piano focale. In una camera fotografica tradizionale l'immagine della realtà viene proiettata sul piano focale dove è situata la pellicola. La luce riflessa dalla scena ripresa sensibilizza la pellicola;

4) Le foto aeree possono fornire risoluzioni spaziali inferiori ai 50 centimetri. La risoluzione spaziale esatta della foto è una funzione complessa che varia a causa di molti fattori che variano con ogni acquisizione dei dati, tra cui lunghezza focale dell'obiettivo, altezza della piattaforma, tipo e formato della pellicola.

PARAMETRO SPAZIALE

5) **L'altezza di volo parte da poche centinaia di metri a seconda della scala cartografica che si vuole ottenere.**

6) **Le pellicole più utilizzate sono quelle pancromatiche sensibili al visibile.**

La modalità multispettrale usa sistemi a più ottiche con differenti combinazioni di filtri per acquisire simultaneamente le foto in un certo numero di bande spettrali differenti.

Esempio di Camere fotogrammetriche

Camera aerea RC30 (LH System) Leica Herrbrugg

Camera aerea RMK TOP (terminal operated)- Zeiss

CAMERE FOTOGRAMMETRICHE DIGITALI- ALLOGGIATE SU AEREO

Le camere fotogrammetriche digitali utilizzano [redacted] [redacted] un piano focale composto da elementi CCD in linea o a matrice, che scansionano la scena da rilevare, analogamente ai sistemi a scansione alloggiati su satellite.

Il rilevamento a scansione opera un campionamento al suolo le cui dimensioni dipendono dal sensore impiegato e dalla distanza fra lo strumento e l'oggetto. La risoluzione al suolo è riferibile all'IFOV- Instantaneous Field of View, cioè all'ampiezza angolare che sottende la superficie proiettata di un singolo elemento del detector.

SENSORI PANCROMATICI alloggiati su satellite

Si tratta di sensori che lavorano nel campo del visibile e dell'infrarosso vicino (solitamente tra 0,4 e 0,9 micron) con limitata definizione spettrale sfruttando (misurando) l'intera energia elettromagnetica per ottenere un'alta risoluzione spaziale, a scapito della risoluzione spettrale.

Sono utilizzati principalmente per applicazioni di tipo fotogrammetrico, ovvero per la realizzazione o l'aggiornamento di cartografia a scala locale.

Le immagini derivate possono integrare o essere fuse ad altre immagini provenienti da sensori multispettrali, consentendo il miglioramento della risoluzione spaziale dei dati provenienti da quest'ultimi (operazione di pan-sharpened),

oppure **è possibile sovrapporre due immagini** della stessa scena acquisite con differenti angoli di veduta o due passaggi consecutivi e realizzare **stereocoppie** di immagini che aggiungono l'informazione sulla quota e da cui è possibile creare modelli digitali del terreno (DTM Digital Terrain Model).

PARAMETRO SPAZIALE

SENSORI PANCROMATICI alloggiati su satellite

IKONOS : <http://www.geoeeye.com>

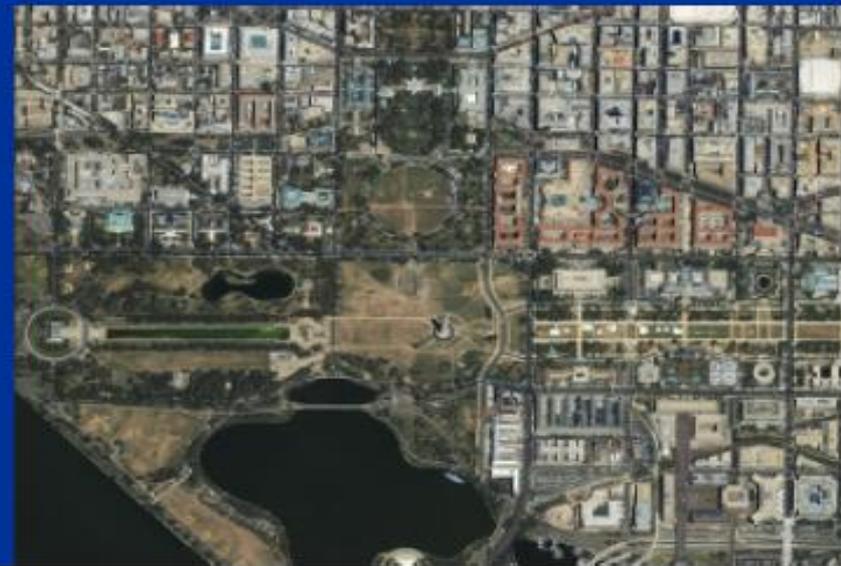
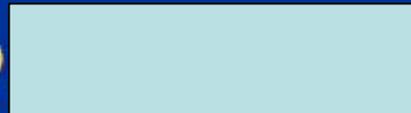
Il satellite Ikonos lanciato nel settembre 1999 da Space Imaging, ed operativo dall'inizio del 2000, è stato il primo satellite commerciale ad alta risoluzione.

Sensori

Sul satellite è montato un sensore che acquisisce sia in modalità pancromatica che multispettrale (3 bande del visibile e 1 banda nell'infrarosso vicino) nell'intervallo spettrale tra 0.45 e 0.90 μm . La risoluzione geometrica al suolo varia per le due modalità da 0,82 a 4 m. La risoluzione radiometrica è di 11 bit, per un totale di 2.048 livelli di grigio.



GEOEYE-1 (0,41x0,41)



PARAMETRO SPAZIALE

SENSORI PANCROMATICI alloggiati su satellite

QUICKBIRD <http://www.digitalglobe.com> Google Earth

WorldView-1

<http://archive03.digitalglobe.com> - Catalog ID: 101001000076A001

WorldView-1 Characteristics

Launch Information	Date: September 18, 2007 Launch Vehicle: Delta II 7920 Launch Site: Vandenberg Air Force Base
Orbit	Altitude: 496 kilometers Type: Sun synchronous, 10:30 am descending node Period: 94.6 minutes
Sensor Bands	Panchromatic
Sensor Resolution (GSD = Ground Sample Distance)	0.50 meters GSD at nadir 0.59 meters GSD at 25° off-nadir
NIRS Equivalency	NIRS potential of greater than 5.0
Dynamic Range	11-bits per pixel
Swath Width	17.6 kilometers at nadir
Pointing Accuracy & Knowledge	Accuracy: <500 meters at image start and stop Knowledge: Supports geolocation accuracy below
Retargeting Agility	Acceleration: 2.5 deg/s Rate: 4.5 deg/s Time to slew 300 kilometers: 10.5 seconds
Onboard Storage	2199 gigabits solid state with EDAC Nominally +/-45° off-nadir = 1036 km wide swath

QuickBird Characteristics

Launch Date	October 18, 2001
Launch Vehicle	Boeing Delta II
Launch Location	Vandenberg Air Force Base, California
Orbit Altitude	450 km
Orbit Inclination	97.2 degree, sun-synchronous
Speed	7.1 km/second
Equator Crossing Time	10:30 a.m. (descending node)
Orbit Time	93.5 minutes
Revisit Time	1-3.5 days depending on latitude (30° off-nadir)
Swath Width	16.5 km at nadir
Metric Accuracy	23-meter horizontal (CE90%)
Digitization	11 bits
Resolution	Pan: 61 cm (nadir) to 72 cm (25° off-nadir) MS: 2.44 m (nadir) to 2.88 m (25° off-nadir)
Image Bands	Pan: 725 nm Blue: 479.5 nm Green: 546.5 nm Red: 654 nm Near IR: 814.5 nm

Note: maximum order polygon size for a single scene is approximately 14 km x 14 km

SENSORI AD ALTA RISOLUZIONE SPETTRALE su satellite

TERRA- EOS – AM1

Il satellite Terra della Nasa fa parte del programma EOS- Earth Observing System, un sistema integrato di satelliti in orbita polare per le osservazioni della superficie della terra, della biosfera, dell'atmosfera e degli oceani.

Il satellite Terra è operativo dal 2000. La quota di orbita è di 705 chilometri e il tempo di rivisitazione temporale di 16 giorni.

Sensori

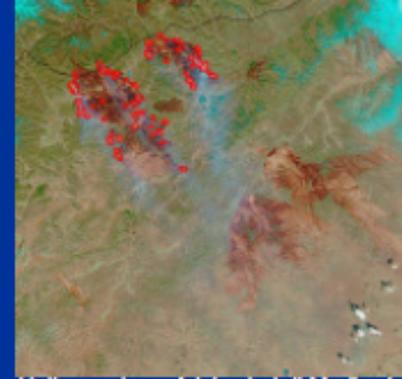
Monta a bordo 5 sensori: I sensori più importanti sono l'ASTER e il MODIS.

L'**ASTER** si pone l'obiettivo di contribuire allo studio dei fenomeni locali e globali relativi alla superficie terrestre e all'atmosfera. **Lavora in 14 bande**, nel visibile (2), nell'infrarosso vicino (2), nell'infrarosso medio (6) e nell'infrarosso termico (5). La risoluzione spaziale varia da 15 metri, nelle bande del visibile e infrarosso vicino, fino a 90 metri nell'infrarosso termico. La scena acquisita misura invece 60 chilometri.

L'altro sensore molto significativo è lo spettroradiometro MODIS, che è anche montato a bordo del satellite Aqua, che fa sempre parte del programma EOS, **MODIS lavora invece in 36 bande** e la sua risoluzione spaziale varia da 250 (banda 1-2) ai 500 metri (bande 3-7) fino ai 1.000 metri (bande 8-36).

SENSORI AD ALTA RISOLUZIONE SPETTRALE su satellite

TERRA- EOS – AM1



Un'immagine a falsi colori di Modis che mostra in rosso le aree interessate da incendi

Dati

I dati derivati da TERRA sono distribuiti , a seconda del tipo di dato richiesto e dell'applicazione a cui serve da diversi enti e uffici della NASA. Per esempio il DAAC- NASA Goddard Earth Sciences (GES) Data and Information Services Center (DISC) fornisce i dati Modis.

Applicazioni

Il Modis è utilizzato per studi sulla **vegetazione, gli incendi, neve su terra e ghiacci su mare**. Fornisce dati e indicazioni anche sulla proprietà delle nubi e degli aerosol, sulla tipologia della superficie e della clorofilla degli oceani.

Con i dati provenienti dal sensore **Aster** è possibile la realizzazione di **Modelli digitali del terreno, analisi geologiche, il monitoraggio dei ghiacciai, la classificazione della copertura del suolo e l'analisi dello sviluppo urbano, la classificazione delle nuvole, il monitoraggio dell'umidità del suolo e l'individuazione delle zone umide, l'analisi del bilancio energetico, dello stress e dello sviluppo della vegetazione, dei vulcani e degli incendi.**

SENSORI AD ALTA RISOLUZIONE SPETTRALE su satellite

ENVISAT

Progettato e costruito dall'ESA, è stato lanciato nel 2002 con il vettore Ariane-5 dalla base di Kourou si trova ora in un'orbita polare elio-sincrona che gli garantisce una ripetitività al suolo di 35 giorni.

Sensori

Envisat monta a bordo 10 strumenti, sia attivi che passivi.

MERIS spettrometro con 15 bande e 300 metri di risoluzione al nadir.

MIPAS spettrometro IR- infrarosso (4-15 micron) ad alta risoluzione.

ASAR radar SAR ad alta risoluzione

GOMOS

RA-2 radar altimetrico

MWR radiometro MW- microonde

LRR

SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography)

AATSR (Advanced Along-Track Scanning Radiometer)

DORIS

Dati

Esa e Spot Image sono i distributori dei dati disponibili e dei prodotti realizzati su richiesta. La disponibilità dei dati è visibile sul sito <http://cat.envisat.esa.int>. Le stazioni riceventi a terra distribuiscono in tempo reale i dati per applicazioni come il monitoraggio del clima e previsioni meteorologiche

SENSORI AD ALTA RISOLUZIONE SPETTRALE su aereo

Aviris Airborne Visible and Infrared Imaging Spectrometer - JPL

Aviris è uno spettrometro ipespettrale sviluppato dal **Jet Propulsion Laboratory (JPL)** .

E' uno strumento a scansione composto in realtà da quattro spettrometri che misurano simultaneamente in **224 bande** spettrali contingue.

Il primo spettrometro misura 31 bande nella regione del visibile compresa tra 0.41 - 0.70 μm .

Il secondo spettrometro, misura 63 bande tra il visibile e l'infrarosso vicino (0.68 - 1.27 μm).

Il terzo strumento 63 bande dell'infrarosso 1.25 - 1.86 μm .

L'ultimo spettrometro 63 bande del.... tra 1.84 - 2.45 μ

la risoluzione spaziale al suolo è di 20 metri e la scena coperta pari a 10,6 km.

L'angolo di scansione totale misura 30° e la risoluzione radiometrica è di 12 bit.

<http://aviris.jpl.nasa.gov/html/aviris.concept.html>

SENSORI AD ALTA RISOLUZIONE SPETTRALE su aereo

Casi 1500

E' stato uno dei primi spettrometri iperspettrale commerciale. Il sensore Casi misura **288 bande** nel campo del visibile e dell'infrarosso, nell'intervallo tra 0,4 e 1,05 μm .

Il sistema di scansione è di tipo along track e la **risoluzione spaziale** varia al variare della quota di volo, variabile tra **0,25 e 1,5 metri**.

Le bande e l'ampiezza delle stesse possono essere programmate prima di ogni campagna di acquisizione dei dati, in ragione dell'applicazione e delle specifiche richieste. E' possibile integrare al sensore il sistema INS/GPS per il controllo e la successiva correzione geometrica dei dati registrati.

Sensori come il Casi sono stati utilizzati anche per la sperimentazione di analoghi strumenti da alloggiare su satellite.

Mivis

Il Mivis è uno strumento iperspettrale operativo da 1995, di proprietà del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

È costituito da **4 spettrometri** ad elevata risoluzione spaziale e spettrale che simultaneamente riprendono le radiazioni provenienti dalla superficie terrestre nel campo del visibile (1° spettrometro--, 20 bande comprese tra 0,43- 0,83 μm), dell'infrarosso vicino (2° spettrometro--, 8 bande comprese tra 1,15- 1,55 μm), dell'infrarosso medio (3° spettrometro--, 64 bande comprese tra 2,0- 2,5 μm) e dell'infrarosso termico (4° spettrometro--, 10 bande comprese tra 8,2- 12,7 μm) per **un totale di 102 bande**.

I valori di radianza delle bande sono acquisiti da 102 canali separati e registrati in forma digitale automaticamente e simultaneamente su differenti tracce della memoria di massa collegata al MIVIS.

Sistema ottico a scansione meccanica munito di un sensore per ognuno dei quattro settori delle bande spettrali.

Il MIVIS è costituito da cinque elementi distinti, tre di essi sono muniti di computer di controllo che gestiscono le operazioni, trasmettono comandi e si scambiano informazioni sullo stato di funzionamento dei componenti attraverso una rete Ethernet.

SENSORI AD ALTA RISOLUZIONE SPETTRALE su aereo

Mivis

La CGR ha installato il MIVIS su una piattaforma aerea costituita da un **bimotore CASA 212C** che rileva in un intervallo di quota da **1.500 a 7.000** metri e ad una velocità non inferiore a 250 Km/h. Le fasi a terra prevedono l'elaborazione, l'archiviazione e la distribuzione dei dati.

Applicazioni

Tra le applicazioni e i progetti realizzati:

- Valutazione delle coperture in cemento amianto
- Monitoraggio di aree degradate e discariche
- Analisi del dissesto
- Analisi delle acque costiere e trasporto di sedimenti
- Indagini geologiche e mineralogiche
- Indagini archeologiche
- Classificazione della vegetazione



Banda 93 (8,21- 8,56 micron, evidenziazione di elevati livelli termici)

CONSIDERAZIONI SUL PARAMETRO SPETTRALE

Non è importante solo il numero e l'ampiezza della lunghezza d'onda misurata ma anche su quale lunghezza d'onda, ovvero su quale banda, si opera, sempre in relazione alla firma spettrale dell'elemento da studiare.

Per esempio sono interessanti alcuni sistemi iperspettrali che vengono tarati ad hoc prima di una missione, registrando quindi solo le bande necessarie e rilevare il fenomeno o l'oggetto da analizzare

Oppure i sensori termici, che lavorano cioè nell'infrarosso termico e che registrano l'energia trasmessa dagli oggetti

O ancora i sistemi a microonde che evidenziano la rugosità di una superficie

PARAMETRO TEMPORALE

Dipende:

- dall'orbita o dalla quota di volo,
- dalle caratteristiche della missione

I sensori ad alta risoluzione temporale, in grado di monitorare praticamente in tempo reale i fenomeni della superficie terrestre o dell'atmosfera sono principalmente i satelliti geostazionari che per le caratteristiche dell'orbita e naturalmente per gli scopi per cui sono stati realizzati monitorano la terra costantemente.

I satelliti europei Meteosat, per esempio, inviano dati della superficie terrestre ogni trenta minuti.

La seconda generazione Meteosat (MSG) consiste in una serie di quattro satelliti meteorologici geostazionari, gestiti da Eumetsat che integrano i dati provenienti dai satelliti americani e giapponesi e dalla serie di satelliti polari (Metop) lanciati recentemente e a operativi nei prossimi anni.

PARAMETRO TEMPORALE

Pur non avendo la stessa risoluzione temporale dei sensori meteo, che tra l'altro non possono essere utilizzati per applicazioni a scala locale, i nuovi SENSORI PANCROMATICI COMMERCIALI, che registrano la stessa scena da 1,5 a 4 giorni, si possono catalogare tra i sistemi con una alta risoluzione temporale.